

ОТЗЫВ

официального оппонента

доктора физико-математических наук, научного руководителя Центра технологий компонентов робототехники и мехатроники НТИ, профессора АНО ВО «Университет Иннополис»

Малолетова Александра Васильевича

на диссертационную работу и автореферат

Колпащикова Дмитрия Юрьевича

на тему «Метод и алгоритмы обратной кинематики и планирования движения для многосекционных непрерывных роботов», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности

2.5.4 – Роботы, мехатроника и робототехнические системы

Роботы-манипуляторы являются наиболее популярным и широко используемым классом роботов. Методы расчёта кинематики и планирования движения для шестистепенных последовательных манипуляторов с жёсткими звеньями хорошо разработаны и повсеместно применяются. Сложнее решаются задачи кинематики и планирования движения для семистепенных роботов-манипуляторов, хотя такие манипуляторы тоже представлены на рынке и, в целом, задачи управления ими также уже решены. Гораздо больше проблем возникает при учёте деформаций звеньев манипулятора, которые неминуемо возникают под нагрузкой и существенно влияют на точность работы манипулятора. Эта задача является актуальной для современной прикладной промышленной робототехники, и, хотя отдельных успехов в последние годы удалось добиться, общая теория пока далеко от завершения.

Ещё более сложной задачей является управление непрерывными манипуляторами, которые представляют собой роботов с целенаправленно и управляемо деформируемыми секциями. Конструктивно такие роботы могут представлять собой одну или несколько упруго деформируемых секций или систему, в которой секции представлены достаточно большим количеством жёстких звеньев. Деформация упругих секций осуществляется целенаправленно и требует использования одного или нескольких дополнительных приводов на каждую из них. При использовании множества жёстких звеньев, количество приводов определяется количеством шарнирных соединений в системе. В любом случае, число управляемых

степеней свободы в таких роботах значительно больше, чем в промышленных манипуляторах, что и определяет сложность задачи.

Основным преимуществом непрерывных роботов является их способность огибать препятствия, что значительно расширяет их возможности в сложных сценах с большим количеством объектов и в замкнутых пространствах. В настоящее время, непрерывные роботы преимущественно представлены лабораторными моделями, хотя некоторые из них уже находят практическое применение. Во многом, сложности использования роботов такого типа обусловлены недостаточно проработанной теорией, развитию которой и посвящена диссертационная работа Колпащикова Д.Ю.

Актуальность исследований в указанном направлении определяется перспективами применения непрерывных манипуляторов как в промышленности, так и других областях человеческой деятельности.

Структура и содержание работы.

Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения и списка литературы из 133 наименований и 2 приложений. Содержание работы составляет 127 страниц текста, 33 рисунка и 13 таблиц.

Первая глава диссертации посвящена обзору существующих методов и алгоритмов решения прямой и обратной задач кинематики для непрерывных роботов. В ней обсуждаются подходы к моделированию непрерывных роботов. Выделено допущение о кусочно-постоянной кривизне, которое является компромиссом между точностью и временем расчета. Указаны преимущества алгоритма FABRIK (Forward And Backward Reaching Inverse Kinematics) при решении обратной задачи кинематики для многозвенных роботов, в том числе непрерывных. На основании проведенного автором литературного обзора установлено, что существующие алгоритмы планирования движения используют модифицированные алгоритмы, которые применяются для планирования движения жестких роботов. Отмечены преимущества и недостатки существующих методов и алгоритмов. Обоснована необходимость разработки нового метода моделирования среды.

Вторая глава посвящена разработке методов решения прямой и обратной задач кинематики для одиночной секции непрерывного робота. Решение задачи прямой кинематики заключается в записи матриц

однородного преобразования, учитывающих возможность изгиба секции в различных направлениях, а также возможность изменения длины секции. Решение обратной задачи кинематики реализовано в виде итеративного нахождения значений угла изгиба, длины секции и линейного смещения.

На основе предложенного метода автором разработано расширение алгоритма FABRIK, предназначенное для многосекционных непрерывных роботов-манипуляторов.

Важным результатом является также разработка алгоритмов планирования движения. Автором разработано два алгоритма: для уклонения от препятствий и для взаимодействия с препятствиями. Именно в этих задачах в полной мере проявляются преимущества непрерывного робота по сравнению с манипулятором с жёсткими звеньями. Особенно интересен алгоритм взаимодействия с препятствиями, поскольку он определяет возможность непрерывного робота осуществлять захват объектов с помощью собственного тела, без использования дополнительных инструментов.

В третьей главе приведены исследования, связанные с оценкой эффективности разработанных метода и алгоритмов обратной кинематики и планирования движения.

В частности, проведена оценка работоспособности разработанного метода решения обратной задачи кинематики для отдельной секции, в которой задавались ограничения на точность и время, затраченное на вычисления. При этом сравнивались два метода: разработанный автором итеративный метод и известный метод на основе матриц Якоби. Методы сравнивались в приложении к различным типам секций непрерывного робота – с постоянной длиной, с переменной длиной и с телескопической парой. Для каждого из вариантов были рассмотрены секции с различным количеством подсекций.

Также были проведены численные исследования для оценки работоспособности предложенного автором расширения алгоритма FABRIK. В исследовании были рассмотрены роботы с 3, 5 и 10 секциями.

Проведённое исследование позволило сделать вывод об эффективности разработанных методов и алгоритмов, что определяется более высоким процентом успешных решений за ограниченное время по сравнению с известными методами. В свою очередь, это позволяет

использовать разработанные алгоритмы для управления непрерывными роботами в реальном времени с меньшими требованиями к вычислительной мощности контроллера робота.

Общие выводы по работе в достаточной степени отражают полученные результаты исследования.

Автореферат соответствует основным материалам, результатам, выводам и положениям диссертации. Верно отражает ее содержание и позволяет сделать заключение о научном уровне работы. Полностью удовлетворяет требованиям Положения о порядке присуждения учёных степеней.

Публикации.

Основные положения и результаты диссертации достаточно полно представлены в опубликованных 13 работах, из которых: три публикации в рецензируемых журналах, рекомендованных ВАК РФ, одна из которых также проиндексирована в базах научного цитирования Scopus и Web of Science; 8 публикаций проиндексированы в базах научного цитирования Scopus и Web of Science (в том числе Q1); две публикации в других изданиях. Автором также оформлен один патент на изобретение и получено три свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ.

Замечания по диссертации и автореферату:

1) Автор остановился на создании алгоритмов уклонения и взаимодействия с препятствиями, разработанных только для плоского случая. Отсутствие решений планирования движения для пространственного случая существенно ограничивают возможности практического применения разработанных решений.

2) Метрика работоспособности, которая фактически заключается в достижимости заданной точности численного решения за заданное время, выглядит спорной. Во-первых, отсутствует обоснование численных значений выбранных критериев. Во-вторых, скорость вычислений в первую очередь определяется возможностями используемой вычислительной техники, но в работе отсутствует описание технических характеристики использованного компьютера. В-третьих, на скорость вычислений влияет операционная система и, более широко, программная среда, в которой

выполняется программа, анализ влияния которых в работе также отсутствует.

И, наконец, главная проблема заключается в том, что на практике выполнять движение ведь всё равно нужно, даже если обратная задача кинематики за заданное время точно не решена. Вполне возможно, что для решения задачи с заданной точностью достаточно увеличить время расчётов всего лишь на несколько процентов. Или за заданное время полученное решение всего лишь на тысячные доли миллиметра или радиана отличается от допустимого. Пусть это решение не укладывается в допуск, но это в большинстве случаев лучше, чем останов работа с выводом сообщения об ошибке. С другой стороны, возможно, что получение результата за пределами допуска означает катастрофическую ошибку, при которой останов работа необходим во избежание аварии.

В работе следовало бы провести более детальный анализ случаев «неуспешных» решений и, в частности, показать распределение ошибок, возникающих в таких решениях.

3) В экспериментальной части автор ограничился только моделированием нескольких частных случаев работы алгоритмов планирования движения, результаты которых он называет проверкой разработанных алгоритмов. Было бы целесообразно исследовать разработанные алгоритмы более детально на большем количестве примеров, выявить возможности и ограничения алгоритмов, выполнить сравнение их между собой.

4) Исследование носит исключительно теоретический характер. Экспериментальная проверка разработанных методов на реальном непрерывном роботе безусловно украсила бы работу, однако следует отметить, что поставленные в исследовании задачи направлены на развитие методов и алгоритмов расчёта рассматриваемого типа роботов. В представленном виде работа носит завершённый характер, и по мнению оппонента, проведение экспериментальных исследований в рамках поставленных в исследовании задач не позволило бы получить каких-либо значимых результатов.

5) Автору не удалось избежать некоторого количества грамматических ошибок и опечаток, что, впрочем, не оказывает значительного влияния на общий достаточно высокий и грамотный уровень работы.

Заключение

Диссертационная работа «Метод и алгоритмы обратной кинематики и планирования движения для многосекционных непрерывных роботов» является завершенной научно-квалификационной работой, характеризующейся актуальностью, новизной, достоверностью результатов и обоснованностью выводов. Диссертация и автореферат написаны грамотным и понятным языком, имеют логичную структуру. Защищаемые положения соответствуют пунктам паспорта специальности 2.5.4 – Роботы, мехатроника и робототехнические системы.

Диссертация удовлетворяет всем квалификационным требованиям, установленными разделом 2 положения «О присуждении ученых степеней в ЮФУ» в редакции от 30.11.2021 г. приказ №260-ОД, а ее автор, Колпащиков Дмитрий Юрьевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.4 – Роботы, мехатроника и робототехнические системы.

Официальный
оппонент

Малолетов Александр Васильевич,
доктор физико-математических наук,
Научный руководитель Центра
технологий компонентов
робототехники и мехатроники НТИ,
профессор АНО ВО «Университет
Иннополис» (специальность 01.02.01
– «Теоретическая механика»)

420500, Российская Федерация, Республика Татарстан, Верхнеуслонский муниципальный район, город Иннополис, улица Университетская, д. 1. Тел.: +7 (843) 203-92-53, e-mail: university@innopolis.ru

Согласен на обработку персональных данных.

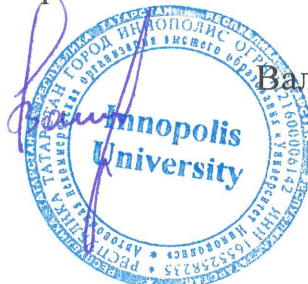


Александр Васильевич Малолетов

28.08.2023

Подпись Малолетова Александра Васильевича заверяю:

Директор по развитию и кадровой политике
АНО ВО «Университет Иннополис»



Валиев Р.Ф.